

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-190537

(43)Date of publication of application : 23.07.1996

(51)Int.Cl.

G06F 15/163

G06F 9/46

(21)Application number : 07-001545

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 09.01.1995

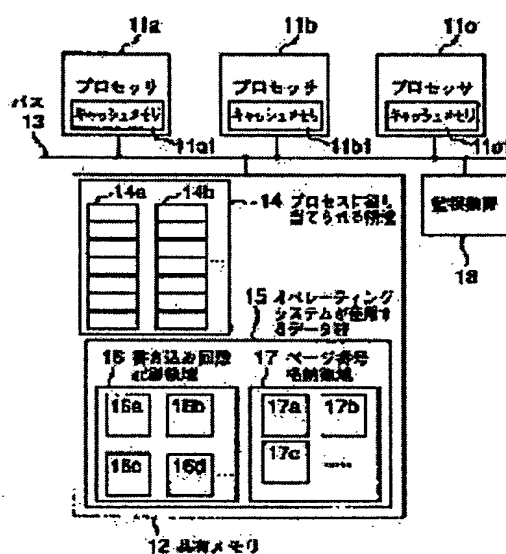
(72)Inventor : KITSU TOSHIKI

## (54) MULTIPROCESSOR SYSTEM AND PROCESS SCHEDULING METHOD

(57)Abstract:

PURPOSE: To effectively use the data stored in cache memories and to improve the performance of a multiprocessor system.

CONSTITUTION: The multiprocessor system consists of processors 11a, 11b and 11c which include the cache memories 11a1, 11b1 and 11c1 respectively. A monitoring device 18 monitors the writing frequency of each processor that carried out a writing operation in every area (page) 14 which is used for the process carried out by each processor. When the device 18 judged that the writing frequency of a certain processor exceeds a prescribed threshold, a written page is used and also the process that has not been carried out by the processor judged by the device 18 is shifted to this processor.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-190537

(43) 公開日 平成8年(1996)7月23日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 F 15/163 9/46	3 6 0 C		G 0 6 F 15/ 16	3 2 0 K

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平7-1545

(22) 出願日 平成7年(1995)1月9日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 岐津 俊樹

東京都青梅市末広町2丁目9番地 株式会

社東芝青梅工場内

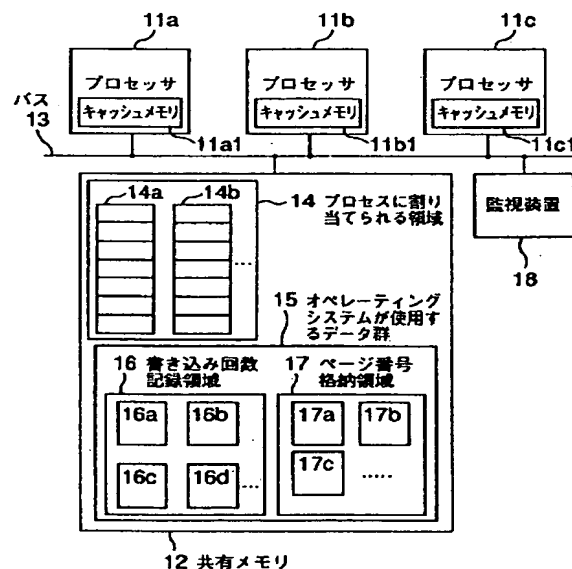
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 マルチプロセッサシステム及びプロセススケジューリング方法

(57) 【要約】

【目的】 キャッシュメモリのデータを有効に活用して、システム性能の向上を図る。

【構成】 キャッシュメモリ 11a1, 11b1, 11c1 が設けられた複数のプロセッサ 11a, 11b, 11c によって構成されたマルチプロセッサシステムにおいて、プロセッサ上で実行されるプロセスが使用する領域 14 について、領域（ページ）毎に、書き込みを行なった各プロセッサの書き込み頻度を監視する監視装置 18 を具備し、監視装置 18 によって、あるプロセッサによる書き込みの頻度が所定の閾値よりも高くなったことが判別された場合に、書き込みがあったページを使用し、かつ監視装置 18 によって判別されたプロセッサで実行されていないプロセスを、そのプロセッサに移動させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 キャッシュメモリが設けられた複数のプロセッサによって構成されたマルチプロセッサシステムにおいて、  
プロセッサ上で実行されるプロセスが使用するメモリ領域について、所定のメモリ領域毎に、書き込みを行なった各プロセッサの書き込み頻度を監視する監視手段と、  
前記監視手段によってあるプロセッサによる書き込みの頻度が所定の閾値よりも高くなったことが判別された場合に、書き込みがあったメモリ領域を使用し、かつ前記監視手段によって判別されたプロセッサで実行されていないプロセスを、前記プロセッサに移動するスケジューリング手段と、  
を具備したことを特徴とするマルチプロセッサシステム。

【請求項2】 プロセスがプロセッサ間で移動した際の履歴を記録するプロセス移動記録手段をさらに具備し、  
前記スケジューリング手段は、前記プロセス移動記録手段によって記録された移動の対象とするプロセスに関する履歴に基づいて、特定のプロセッサ間での移動回数が所定の閾値を越えた場合に、プロセスの移動を行なわないことを特徴とする請求項1記載のマルチプロセッサシステム。

【請求項3】 各プロセッサで実行されるプロセス数を記録する実行中プロセス記録手段をさらに具備し、  
前記スケジューリング手段は、前記実行中プロセス記録手段によって記録されたプロセス数に基づいて、特定のプロセッサに対してプロセスが集中していることが判別された場合には、対象とするプロセスの移動を行なわず、最も多くプロセスを実行しているプロセッサから他のプロセッサにプロセスを移動することを特徴とするマルチプロセッサシステム。

【請求項4】 キャッシュメモリが設けられた複数のプロセッサによって構成されたマルチプロセッサシステムにおいて、  
プロセッサ上で実行されるプロセスが使用するメモリ領域について、所定のメモリ領域毎に、書き込みを行なった各プロセッサの書き込み頻度を監視し、  
あるプロセッサによる書き込みの頻度が所定の閾値よりも高くなった場合に、書き込みがあったメモリ領域を使用し、かつ前記監視手段によって判別されたプロセッサで実行されていないプロセスを前記プロセッサに移動することを特徴とするプロセススケジューリング方法。

【請求項5】 キャッシュメモリが設けられた複数のプロセッサによって構成されたマルチプロセッサシステムにおいて、  
プロセッサ上で実行されるプロセスが使用するメモリ領域について、所定のメモリ領域毎に、書き込みを行なった各プロセッサの書き込み頻度を監視し、  
あるプロセッサによる書き込みの頻度が所定の閾値より

も高くなった場合に、移動の対象とするプロセスの特定のプロセッサ間での移動回数が、所定の閾値を越えた場合にはプロセスの移動を行なわず、  
前記所定の閾値を越えていない場合には前記プロセッサにプロセスの移動を行なうことを特徴とするプロセススケジューリング方法。

【請求項6】 キャッシュメモリが設けられた複数のプロセッサによって構成されたマルチプロセッサシステムにおいて、  
プロセッサ上で実行されるプロセスが使用するメモリ領域について、所定のメモリ領域毎に、書き込みを行なった各プロセッサの書き込み頻度を監視し、  
あるプロセッサによる書き込みの頻度が所定の閾値よりも高くなった場合に、特定のプロセッサに対してプロセスが集中していなければ対象とするプロセスを前記プロセッサに移動し、  
特定のプロセッサに対してプロセスが集中していることが判別された場合には、対象とするプロセスの移動を行なわず、最も多くプロセスを実行しているプロセッサから他のプロセッサにプロセスを移動することを特徴とするプロセススケジューリング方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、マルチプロセッサシステムにおけるプロセススケジューリングに関するものである。

【0002】

【従来の技術】一般に、マルチプロセッサシステムは、各プロセッサにキャッシュメモリが設けられている。プロセッサ上で実行されるプロセスが共有メモリに対してアクセスする場合、キャッシュに対象とするデータが存在するか判別され、対象とするデータが存在すればキャッシュメモリ上で処理を実行する。これにより、共有メモリに対するアクセス回数が低減され、システムの性能が向上される。

【0003】ところで、マルチプロセッサシステムでは、システムで実行すべきプロセスを複数のプロセッサを有効に用いて、システム全体の効率を高めるためにプロセススケジューリングが実行されている。

【0004】従来のマルチプロセッサシステムのプロセススケジューリング方式としては、実行可能なプロセスのうち、最も高いプライオリティのものを選択して実行する方式が多い。この方式では、あるプロセッサ上で実行されていたプロセスが他のプロセッサに自由に移動することができる。

【0005】プロセスがあるプロセッサ上で実行される場合、そのプロセッサに設けられたキャッシュにプロセスが参照するデータが格納される。従って、プロセスが他のプロセッサに移動された場合には、移動前のプロセスのキャッシュに格納された、それまでプロセスが参

照していたデータが無駄になってしまう。また、移動されたプロセスは、移動先のプロセッサにおいて改めてキャッシュに格納されたデータに対して処理を実行することになる。さらに、移動前のプロセッサで他のプロセスとデータを共有していた場合には、移動後のプロセッサのキャッシュにも同じデータが格納されると、プロセスの処理に伴ってデータの一貫性を維持するための処理が必要となる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来のマルチプロセッサシステムでは、プロセススケジューリングによって、プロセスがプロセッサ間で自由に移動できるため、プロセッサのキャッシュに格納されたデータが無駄になっていた。

【0007】本発明は前記のような事情を考慮してなされたもので、キャッシュメモリのデータを有効に活用して、システム性能の向上を図ることが可能なマルチプロセッサシステムを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、キャッシュメモリが設けられた複数のプロセッサによって構成されたマルチプロセッサシステムにおいて、プロセッサ上で実行されるプロセスが使用するメモリ領域について、所定のメモリ領域毎に、書き込みを行なった各プロセッサの書き込み頻度を監視する監視手段と、前記監視手段によってあるプロセッサによる書き込みの頻度が所定の閾値よりも高くなったことが判別された場合に、書き込みがあったメモリ領域を使用し、かつ前記監視手段によって判別されたプロセッサで実行されていないプロセスを、前記プロセッサに移動するスケジューリング手段とを具備したことを特徴とする。

【0009】また、プロセスがプロセッサ間で移動した際の履歴を記録するプロセス移動記録手段をさらに具備し、前記スケジューリング手段は、前記プロセス移動記録手段によって記録された移動の対象とするプロセスに関する履歴に基づいて、特定のプロセッサ間での移動回数が所定の閾値を越えた場合に、プロセスの移動を行わないことを特徴とする。

【0010】また、各プロセッサで実行されるプロセス数を記録する実行中プロセス記録手段をさらに具備し、前記スケジューリング手段は、前記実行中プロセス記録手段によって記録されたプロセス数に基づいて、特定のプロセッサに対してプロセスが集中していることが判別された場合には、対象とするプロセスの移動を行わず、最も多くプロセスを実行しているプロセッサから他のプロセッサにプロセスを移動することを特徴とする。

【0011】

【作用】このような構成によれば、あるメモリ領域（ページ）に対する書き込みが、頻繁に行なわれている場合、すなわち予め設定されたある閾値よりも書き込み頻

度が高い場合には、その書き込みを行なっているプロセッサに、同じメモリ領域にアクセスするプロセスを移動することにより、複数のプロセッサのキャッシュメモリ中に同じデータが存在することによるデータの一貫性を取るための処理を不要とし、さらにキャッシュメモリ上で複数のプロセスによる処理が実行可能であるので共有メモリに対するアクセス回数が低減される。すなわち、プロセスの移動を適切に制御することにより、キャッシュ上などのデータが有効に活用されるので、システム全体の性能の向上が図れる。

【0012】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。図1は本発明の第1実施例に係わるマルチプロセッサシステムの構成を示すブロック図である。図1に示すマルチプロセッサシステムは、複数のプロセッサ11a、11b、11cと共有メモリ12が、バス13を介して結合されて構成されている。さらに、バス13には、プロセッサ11a、11b、11cによる共有メモリ12に対する書き込みを監視する監視装置18が結合されている。

【0013】各プロセッサ11a、11b、11cには、それぞれキャッシュメモリ11a1、11b1、11c1が設けられている。共有メモリ12には、プロセッサ11a、11b、11c上で実行されるプロセスに割り当てられる領域（アドレス空間）14、オペレーティングシステム（OS）が使用するデータ群15の他、オペレーティングシステムプログラム（スケジューラを含む）等のプログラムや各種データを格納するための領域が確保される。スケジューラは、各プロセッサ11a、11b、11cにおいて、プロセッサ間でプロセスを移動させるための処理を実行させるものである。

【0014】共有メモリ12中のプロセスに割り当てられる領域14は、プロセッサ11a、11b、11c上でプロセスが生成される際にプロセス毎に割り当てられる（領域14a、14b、…）、各領域14a、14b、…がページと呼ばれる単位に分割されて管理されるものである。

【0015】オペレーティングシステムが使用するデータ群15には、書き込み回数記録領域16、及びページ番号格納領域17が含まれている。書き込み回数記録領域16は、プロセスに割り当てられる領域14中のページ毎（領域16a、16b、16c、16d、…）に、そのページに対して行われた書き込みの回数をプロセッサ毎に記録するためのものである。詳細については後述する。

【0016】ページ番号格納領域17は、書き込み回数記録領域16に格納されたページに対するプロセッサによる書き込みの回数が所定以上となった場合に、該当するページを示すページ番号を格納するためのものである（領域17a、17b、17c、…）。詳細については

後述する。

【0017】監視装置18は、プロセッサ11a, 11b, 11cによる共有メモリ12に対する書き込みを監視して、書き込まれたページに対応する書き込み回数記録領域16中の所定の領域に、書き込みを行なったプロセッサ（プロセッサID）毎に書き込み回数を記録する。また、監視装置18は、書き込み回数記録領域16に記録した書き込み回数を参照して、プロセッサからの書き込みの回数が所定以上となった（予め設定された閾値を越えた）場合に、プロセッサに対して割り込みを発生するものである。

【0018】図2は書き込み回数記録領域16に記録される内容の詳細を示す図である。ここでは、ある1つのページに対応する領域16aについて示す。領域16aには、各プロセッサを示すプロセッサIDに対応して、そのプロセッサが領域16aに対応するページに書き込みを行なった回数を格納する領域21a, 21b, 21c, …、領域21a, 21b, 21c, …に格納された書き込み回数が所定以上となったことを判別するための閾値を格納するための領域22、及び現在このページに対する処理を実行中のプロセスが動作しているプロセッサ（監視装置18による割り込み先）を示すプロセッサIDを記録するための領域23が用意されている。

【0019】書き込み回数記録領域16は、予め書き込み回数が「0」で初期化される。また、プロセッサIDを記録する領域23には、初期値として領域16aに対応するページが割り当てられたプロセスを実行するプロセッサを示すプロセッサIDが格納される。

【0020】図3はページ番号格納領域17に記録される内容の詳細を示す図である。ページ番号格納領域17には、書き込み回数記録領域16の領域16a, 16b, 16c, 16d, …において書き込みの回数が閾値を越えたものと判別された場合に、該当するページを示すページ番号を、閾値を越える書き込みを行なったプロセッサを示すプロセッサIDと対応づけて格納するための領域31a, 31b, 31c, …が用意されている。

【0021】次に、第1実施例の動作について、図4及び図5に示すフローチャートを参照しながら説明する。図4は監視装置18の動作を示すフローチャートである。プロセスが生成される際に、共有メモリ12中に領域（領域14中の所定のページ）が割り当てられると、そのページに対応して書き込み回数記録領域16中に、プロセスが実行されるプロセッサを示すプロセッサIDが領域23に格納される。

【0022】このプロセスがあるプロセッサ上で実行されている時に、特定のページに対して書き込みを行なうと、監視装置18は、書き込み回数記録領域16の対象とするページに対応して、書き込みを実行したプロセッサのプロセッサIDを格納すると共に、このプロセッサIDに対応づけて格納された書き込み回数の値を1つ増

やす（ステップA1）。（既に該当するプロセッサIDが格納されていれば、そのプロセッサIDに対応して書き込み回数の値を1つ増やす）。

【0023】また、同じページに対して、他のプロセスが書き込みを行なうと、同様にして監視装置18は、このプロセスを実行しているプロセッサのプロセッサIDと対応づけて書き込みの回数を格納する（書き込み回数を1つ増加する）。

【0024】図2に示すような情報を作成するためには、いくつかの方法が存在する。例えば、一般的なシステムにおいては、プロセッサがあるページに書き込みを行った場合に、ページテーブルエントリにmodifiedビットをセットするが、この時にmodifiedビットをセットすると同時に、書き込みを行なったプロセッサのプロセッサIDも記録するようにし、ソフトウェアでそれを定期的に監視することにより、図2に示すような情報を作成する方法がある。

【0025】この時、書き込みを行なったプロセッサによる、このページへの書き込み回数が、領域22に格納されている予め設定された閾値を越えた場合には（ステップA2）、監視装置18は、ページ番号格納領域17に、書き込み回数記録領域16の現在対象としているページの領域23に格納されているプロセッサIDとページ番号を対応づけて格納する（ステップA3）。

【0026】最後に、監視装置18は、領域23に格納されたプロセッサIDが示すプロセッサに対して割り込みを発行する（ステップA4）。すなわち、領域23に格納されたプロセッサIDが示すプロセッサ上で実行中のプロセスを、他のプロセッサに移動させるための処理を実行させる。

【0027】なお、ページ番号格納領域17には、書き込み回数記録領域16において、他のページに対する書き込み回数が、それぞれで設定された閾値を越えた場合に、それぞれのページ番号がプロセッサIDと対応づけられて格納される。

【0028】図5は監視装置18によって割り込みを受けたプロセッサの動作を示すフローチャートである。監視装置18からの割り込みを受けたプロセッサは、共有メモリ12のページ番号格納領域17に格納されたプロセッサIDから自プロセッサのプロセッサIDを検索し、該当するプロセッサIDに対応づけて格納されたページ番号を調べる（ステップB1）。すなわち、どのページに対する書き込みが閾値を越えて割り込みが発生したかを調べる。

【0029】割り込みを受けたプロセッサは、ページ番号格納領域17に格納されたページ番号に応じて、書き込み回数記録領域16に記録された対象とするページに対する書き込み回数を調べて、このページに最も多く書き込みを行なっているプロセッサのプロセッサIDを求める（ステップB2）。

【0030】割り込みを受けたプロセッサは、書き込み回数記録領域16から求めたプロセッサIDと自プロセッサIDとを比較し、一致するか否かを判別する(ステップB3)。すなわち、自プロセッサで動作しているプロセスを、他のプロセッサに移動させるかを判別するもので、プロセッサIDが同じであれば、移動先のプロセッサが自プロセッサであるのでプロセスの移動は行なわない。

【0031】一方、プロセッサIDが異なる場合には、書き込み回数記録領域16に格納されていたプロセッサIDが示す最も書き込み回数の多いプロセッサに、現在実行中のプロセスを移動させるための処理を実行する(ステップB4)。

【0032】そして、書き込み回数記録領域16に格納された、プロセスの移動先となったプロセッサに対応する書き込み回数を「0」クリアする(ステップB5)。なお、プロセスが切り替わるなどして、ページのマッピングが変更になった場合には、そのページに対応する書き込み回数記録領域16を初期化し直す。

【0033】このようにして、任意のプロセッサに移動させるのではなく、共有メモリ12の共通するページに対する書き込みが多いプロセッサにプロセスを移動させるスケジューリングにより、キャッシュメモリに格納されたデータを有効に利用することができる。

【0034】次に、本発明の第2実施例について説明する。図6は、本発明の第2実施例に係わるマルチプロセッサシステムの構成を示すブロック図である。図6に示す第2実施例のマルチプロセッサシステムは、複数のプロセッサ41a、41b、41cと共有メモリ42が、バス43を介して結合されて構成されている。さらに、共有メモリ42に対する書き込みを監視する監視装置48が結合されている。

【0035】各プロセッサ41a、41b、41cには、それぞれキャッシュメモリ41a1、41b1、41c1が設けられている。共有メモリ42には、プロセッサ41a、41b、41c上で実行されるプロセスに割り当てられる領域(アドレス空間)44、オペレーティングシステムが使用するデータ群45の他、オペレーティングシステムプログラム(スケジューラを含む)等のプログラムや各種データを格納するための領域が確保される。スケジューラは、各プロセッサ41a、41b、41cにおいて、プロセッサ間でプロセスを移動させるための処理を実行させるものである。

【0036】共有メモリ42中のプロセスに割り当てられる領域44は、プロセッサ41a、41b、41c上でプロセスが生成される際にプロセス毎に割り当てられる(領域44a、44b、…)、各領域44a、44b、…がページと呼ばれる単位に分割されて管理されるものである。

【0037】オペレーティングシステムが使用するデータ群45には、書き込み回数記録領域46、ページ番号格納領域47、及びプロセッサID履歴領域49が含まれている。

【0038】書き込み回数記録領域46は、プロセスに割り当てられる領域44中のページ毎(領域46a、46b、46c、46d、…)に、そのページに対して行われた書き込みの回数をプロセッサ毎に記録するためのものである。詳細については後述する。

【0039】ページ番号格納領域47は、書き込み回数記録領域46に格納されたページに対するプロセッサによる書き込みの回数が所定以上となった場合に、該当するページを示すページ番号を格納するためのものである(領域47a、47b、47c、…)。詳細については後述する。

【0040】プロセッサID履歴領域49は、各プロセス毎(領域49a、49b、49c、…)に、実行されたプロセッサを示すプロセッサIDの履歴、すなわちプロセスの移動の履歴を格納するためのものである。プロセッサID履歴領域49には、プロセスがプロセッサに割り当てられることにより、オペレーティングシステムによってプロセス毎に格納される。

【0041】監視装置48は、プロセッサ41a、41b、41cによる共有メモリ42に対する書き込みを監視して、書き込まれたページに対応する書き込み回数記録領域46中の所定の領域に、書き込みを行なったプロセッサ(プロセッサID)毎に書き込み回数を記録する。また、監視装置48は、書き込み回数記録領域46に記録した書き込み回数を参照して、プロセッサからの書き込みの回数が所定以上となった(予め設定された閾値を越えた)場合に、プロセッサに対して割り込みを発生するものである。

【0042】次に、第2実施例の動作について、図7に示すフローチャートを参照しながら説明する。なお、監視装置48の動作は、前述した第1実施例と同じであるので(図4に示すフローチャート)説明を省略する。図7は監視装置48によって割り込みを受けたプロセッサの動作を示すフローチャートである。

【0043】監視装置48からの割り込みを受けたプロセッサは、共有メモリ42のページ番号格納領域47に格納されたプロセッサIDから自プロセッサのプロセッサIDを検索し、該当するプロセッサIDに対応づけて格納されたページ番号を調べる(ステップC1)。すなわち、どのページに対する書き込みが閾値を越えて割り込みが発生したかを調べる。

【0044】割り込みを受けたプロセッサは、ページ番号格納領域47に格納されたページ番号に応じて、書き込み回数記録領域46に記録された対象とするページに対する書き込み回数を調べて、このページに最も多く書き込みを行なっているプロセッサのプロセッサIDを求

める(ステップC2)。

【0045】割り込みを受けたプロセッサは、書き込み回数記録領域46から求めたプロセッサIDと自プロセッサIDとを比較し、一致するかどうかを判別する(ステップC3)。すなわち、自プロセッサで動作しているプロセスを、他のプロセッサに移動させるかを判別するもので、プロセッサIDが同じであれば、移動先のプロセッサが自プロセッサであるのでプロセスの移動は行なわない。

【0046】一方、プロセッサIDが異なる場合には、プロセッサID履歴領域49を参照し、対象とするプロセスが実行されたプロセッサの履歴、すなわちプロセスの移動の履歴を調べる(ステップC4)。

【0047】そして、特定のプロセッサ間での移動が、移動回数に対する予め設定された閾値を越えているかを判別する(ステップC5)。すなわち、特定のプロセッサ間でプロセスの移動が繰り返して行なわれている場合には、プロセスの移動による効果が十分に得られず、またプロセス移動に要する負担のみが増加することになるのでプロセスを移動させないようにする。

【0048】一方、特定のプロセッサ間での移動が閾値を越えていない場合には、書き込み回数記録領域46に格納されていたプロセッサIDが示す最も書き込み回数の多いプロセッサに、現在実行中のプロセスを移動させるための処理を実行する(ステップC6)。

【0049】そして、書き込み回数記録領域46に格納された、プロセスの移動先となったプロセッサに対応する書き込み回数を「0」クリアする(ステップC7)。なお、プロセスが切り替わるなどして、ページのマッピングが変更になった場合には、そのページに対応する書き込み回数記録領域46を初期化し直す。

【0050】このようにして、前述した第1実施例における効果に加えて、さらにプロセスの移動により十分な効果が得られない、特定のプロセッサ間での移動が頻繁に発生する場合には、プロセスを移動させないようにして、システムの性能低下を防ぐことができる。

【0051】次に、本発明の第3実施例について説明する。図8は、本発明の第3実施例に係わるマルチプロセッサシステムの構成を示すブロック図である。図8に示すように、第3実施例のマルチプロセッサシステムは、複数のプロセッサ51a、51b、51cと共有メモリ52が、バス53を介して結合されて構成されている。さらに、バス53には、プロセッサ51a、51b、51cによる共有メモリ52に対する書き込みを監視する監視装置58が結合されている。

【0052】各プロセッサ51a、51b、51cには、それぞれキャッシュメモリ51a1、51b1、51c1が設けられている。共有メモリ52には、プロセッサ51a、51b、51c上で実行されるプロセスに割り当てられる領域(アドレス空間)54、オペレーテ

ィングシステムが使用するデータ群55の他、オペレーティングシステムプログラム(スケジューラを含む)等のプログラムや各種データを格納するための領域が確保される。スケジューラは、各プロセッサ51a、51b、51cにおいて、プロセッサ間でプロセスを移動させるための処理を実行させるものである。

【0053】共有メモリ52中のプロセスに割り当てられる領域54は、プロセッサ51a、51b、51c上でプロセスが生成される際にプロセス毎に割り当てられる(領域54a、54b、…)、各領域54a、54b、…がページと呼ばれる単位に分割されて管理されるものである。

【0054】オペレーティングシステムが使用するデータ群55には、書き込み回数記録領域56、ページ番号格納領域57、プロセッサID履歴領域59、及び実行中プロセス数領域5Aが含まれている。

【0055】書き込み回数記録領域56は、プロセスに割り当てられる領域54中のページ毎(領域56a、56b、56c、56d、…)に、そのページに対して行われた書き込みの回数をプロセッサ毎に記録するためのものである。詳細については後述する。

【0056】ページ番号格納領域57は、書き込み回数記録領域56に格納されたページに対するプロセッサによる書き込みの回数が所定以上となった場合に、該当するページを示すページ番号を格納するためのものである(領域57a、57b、57c、…)。詳細については後述する。

【0057】プロセッサID履歴領域59は、各プロセス毎(領域59a、59b、59c、…)に、実行されたプロセッサを示すプロセッサIDの履歴、すなわちプロセスの移動の履歴を格納するためのものである。プロセッサID履歴領域59には、プロセスがプロセッサに割り当てられることにより、オペレーティングシステムによってプロセス毎に格納される。

【0058】実行中プロセス数領域5Aは、各プロセッサ51a、51b、51cで実行しているプロセスの個数を、各プロセッサ毎(領域5Aa、5Ab、5Ac)に格納するための領域である。実行中プロセス数領域5Aには、プロセッサ間でのプロセスの移動等が発生することにより、オペレーティングシステムによってプロセッサ毎に実行中のプロセス数が更新される。

【0059】監視装置58は、プロセッサ51a、51b、51cによる共有メモリ52に対する書き込みを監視して、書き込まれたページに対応する書き込み回数記録領域56中の所定の領域に、書き込みを行なったプロセッサ(プロセッサID)毎に書き込み回数を記録する。また、監視装置58は、書き込み回数記録領域56に記録した書き込み回数を参照して、プロセッサからの書き込みの回数が所定以上となった(予め設定された閾値を越えた)場合に、プロセッサに対して割り込みを発

生するものである。

【0060】次に、第3実施例の動作について、図9に示すフローチャートを参照しながら説明する。なお、監視装置58の動作は、前述した第1実施例と同じであるので（図4に示すフローチャート）説明を省略する。図9は監視装置58によって割り込みを受けたプロセッサの動作を示すフローチャートである。

【0061】監視装置58からの割り込みを受けたプロセッサは、共有メモリ52のページ番号格納領域57に格納されたプロセッサIDから自プロセッサのプロセッサIDを検索し、該当するプロセッサIDに対応づけて格納されたページ番号を調べる（ステップD1）。すなわち、どのページに対する書き込みが閾値を越えて割り込みが発生したかを調べる。

【0062】割り込みを受けたプロセッサは、ページ番号格納領域57に格納されたページ番号に応じて、書き込み回数記録領域56に記録された対象とするページに対する書き込み回数を調べて、このページに最も多く書き込みを行なっているプロセッサのプロセッサIDを求める（ステップD2）。

【0063】割り込みを受けたプロセッサは、書き込み回数記録領域56から求めたプロセッサIDと自プロセッサIDとを比較し、一致するか否かを判別する（ステップD3）。すなわち、自プロセッサで動作しているプロセスを、他のプロセッサに移動させるかを判別するもので、プロセッサIDが同じであれば、移動先のプロセッサが自プロセッサであるのでプロセスの移動は行なわない。

【0064】一方、プロセッサIDが異なる場合には、実行中プロセス数領域5Aを参照し、各プロセッサで実行されているプロセス数を比較する（ステップD4）。そして、プロセス数の最大と最小との差が、プロセス数に対する予め設定されている閾値を越えているかを判別する（ステップD5）。

【0065】すなわち、プロセス移動の結果、特定のプロセッサに対して集中してしまい、プロセッサによって実行しているプロセス数に偏りが発生し、プロセスがある閾値以上の数となっている場合には、現在対象としているプロセスの移動を行なわない。また、最も多くのプロセスを実行しているプロセッサから、プライオリティの低いプロセスを、他のプロセスの実行数が少ないプロセッサに移動させるための処理を実行する（ステップD6）。従って、プロセス数の差が閾値以下となるまで、プロセスを最も実行しているプロセッサから他のプロセッサに対してプロセスを移動する処理が、繰り返して実行されることになる。

【0066】一方、プロセッサで実行されているプロセス数の最大と最小との差が閾値を越えない場合には、プロセッサID履歴領域59を参照し、対象とするプロセスが実行されたプロセッサの履歴、すなわちプロセスの

移動の履歴を調べる（ステップD7）。

【0067】そして、特定のプロセッサ間での移動が、移動回数に対する予め設定された閾値を越えているかを判別する（ステップD8）。すなわち、特定のプロセッサ間でプロセスの移動が繰り返して行なわれている場合には、プロセスの移動による効果が十分に得られず、またプロセス移動に要する負担のみが増加することになるのでプロセスを移動させないようにする。

【0068】一方、特定のプロセッサ間での移動が閾値を越えていない場合には、書き込み回数記録領域56に格納されていたプロセッサIDが示す最も書き込み回数の多いプロセッサに、現在実行中のプロセスを移動させるための処理を実行する（ステップD9）。

【0069】そして、書き込み回数記録領域56に格納された、プロセスの移動先となったプロセッサに対応する書き込み回数を「0」クリアする（ステップD10）。なお、プロセスが切り替わるなどして、ページのマッピングが変更になった場合には、そのページに対応する書き込み回数記録領域56を初期化し直す。

【0070】このようにして、前述した第1実施例及び第2実施例における効果に加えて、さらにプロセスの移動により特定のプロセッサにプロセスが集中した場合には、対象としているプロセスの移動を中止し、最も多くプロセスを実行しているプロセッサから他のプロセッサにプロセスを移動させることにより、各プロセッサに対する負担を平均化して、システム全体の性能低下を防ぐことができる。

【0071】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、プロセスが使用するメモリ領域を監視し、このメモリ領域に対するプロセッサによる書き込み回数に基づいて、頻繁に書き込みを行なっているプロセッサにプロセスを移動させることにより、キャッシュのデータを有効に活用して、システム性能の向上を図ることが可能となるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例に係わるマルチプロセッサシステムの構成を示すブロック図。

【図2】第1実施例における書き込み回数記録領域16に記録される内容の詳細を示す図。

【図3】第1実施例におけるページ番号格納領域17に記録される内容の詳細を示す図。

【図4】第1実施例における監視装置18の動作を示すフローチャート。

【図5】第1実施例における監視装置18によって割り込みを受けたプロセッサの動作を示すフローチャート。

【図6】本発明の第2実施例に係わるマルチプロセッサシステムの構成を示すブロック図。

【図7】第2実施例における監視装置48によって割り込みを受けたプロセッサの動作を示すフローチャート。



13

14

【図8】本発明の第3実施例に係わるマルチプロセッサシステムの構成を示すブロック図。

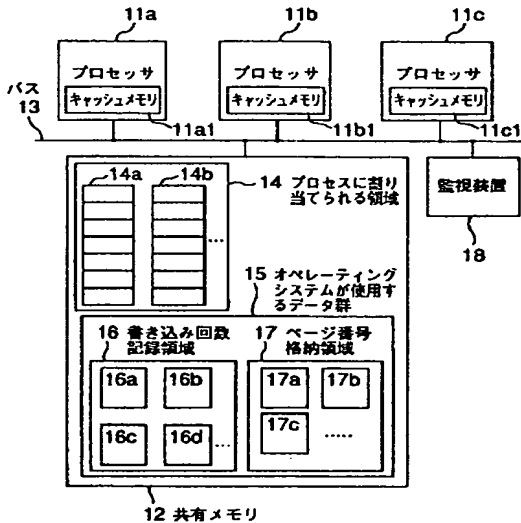
【図9】第3実施例における監視装置58によって割り込みを受けたプロセッサの動作を示すフローチャート。

【符号の説明】

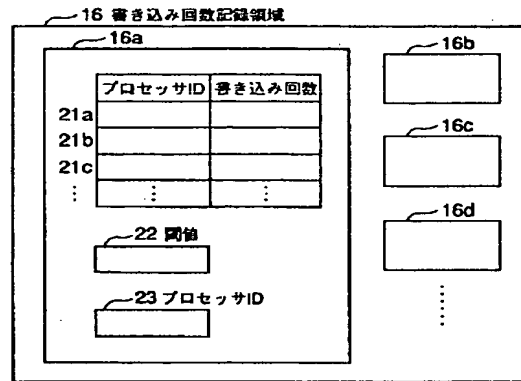
11a, 11b, 11c, 41a, 41b, 41c, 51a, 51b, 51c…プロセッサ、12, 42, 52…\*

\*…共有メモリ、14, 44, 54…プロセスに割り当てられる領域、15, 45, 55…オペレーティングシステムが使用するデータ群、16, 46, 56…書き込み回数記録領域、17, 47, 57…ページ番号格納領域、49, 59…プロセッサID履歴領域、5A…実行中プロセス数領域。

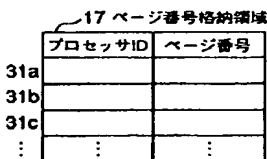
【図1】



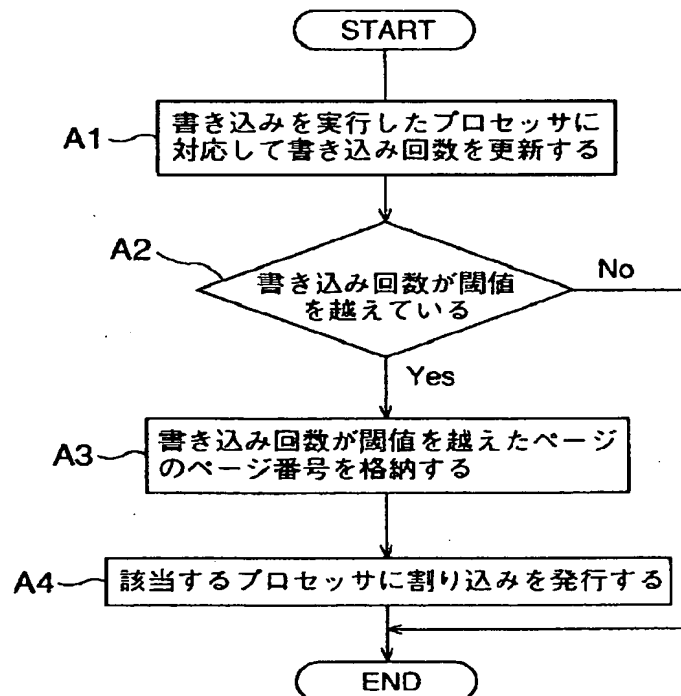
【図2】



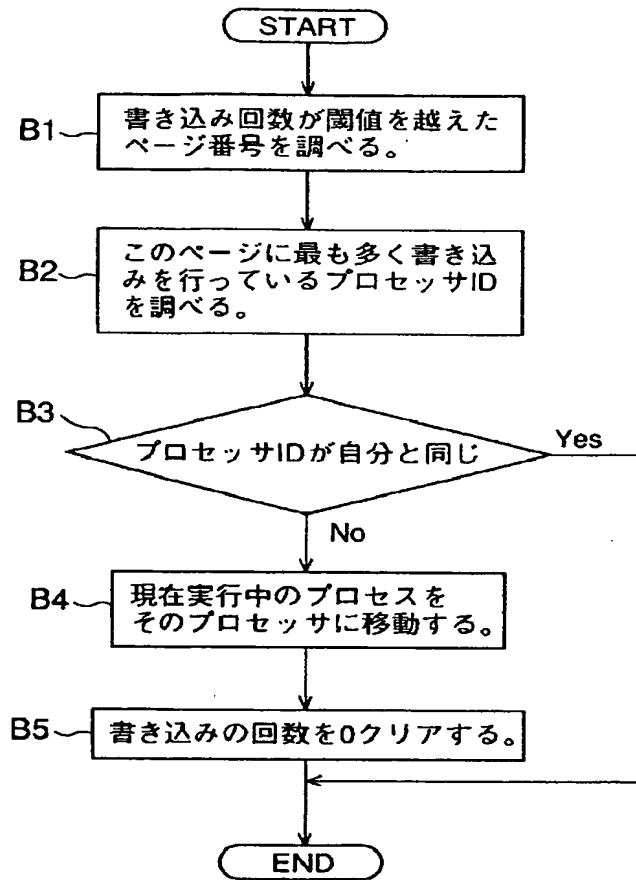
【図3】



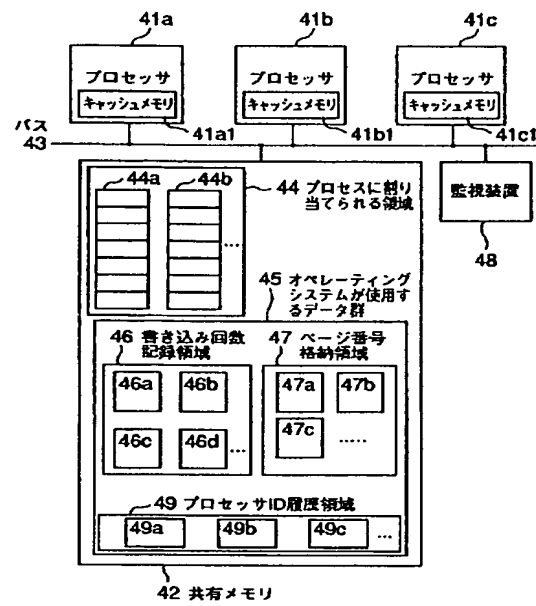
【図4】



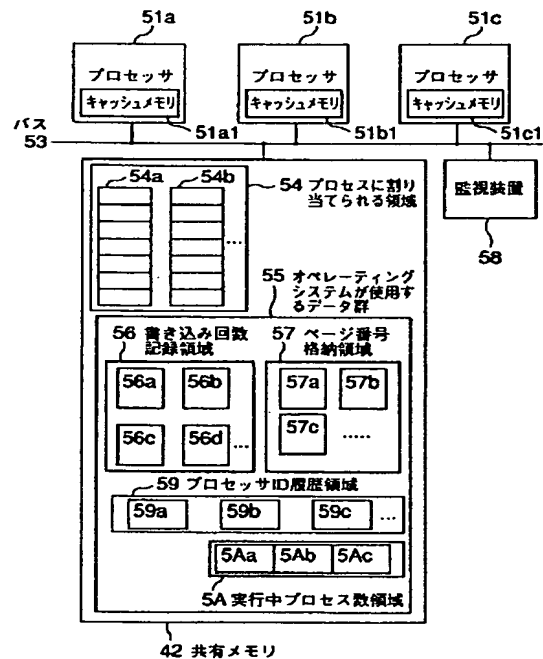
【図5】



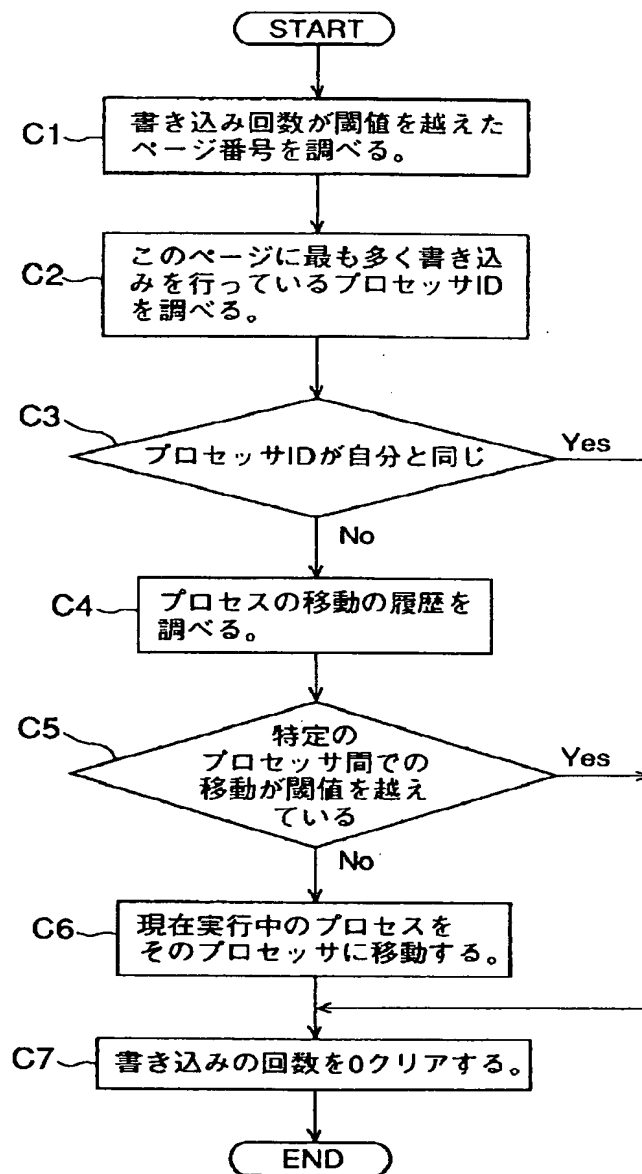
【図6】



【図8】



【図7】



【図9】

